

GELO MARINHO ANTÁRTICO E A TRAJETÓRIA DE CICLONES SOBRE O OCEANO ATLÂNTICO DO SUL⁽¹⁾

Mariana Monteiro dos Santos Gandra⁽²⁾; Mário Francisco Leal de Quadro⁽³⁾.

(1) Trabalho executado com recursos do Edital do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); CHAMADA CNPQ/MCTIC/CAPES/FNDCT 21/2018

(2) Mestranda no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC, Florianópolis, SC; gandramari@gmail.com; (3) Professor; mquadro95@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Os ciclones desempenham um papel importante na circulação geral da atmosfera, possibilitando os transportes meridionais de calor, umidade e momento excedentes das baixas latitudes para altas latitudes (CAVALCANTI et al., 2009). Estes sistemas interferem no tempo e clima da América do Sul causando mudanças no regime de precipitação, variações de temperatura e podem causar impactos em diversos setores socioeconômicos (CAVALCANTI et al., 2009).

Outro componente climático relevante é o gelo marinho. A extensão e espessura da camada de gelo dos polos interfere no balanço de energia, calor e umidade: menor cobertura de gelo permite maior absorção de energia enquanto que o contrário aumenta a reflexão da radiação por conta do maior albedo. Portanto, a variação de gelo marinho tem influência no comportamento dos ciclones (SIMMONDS et al., 2005). Simmonds e Wu (1993), por meio de um modelo de circulação global, encontraram uma relação inversa entre a concentração de gelo marinho e a passagem de ciclones na região Antártica: quando a concentração diminuiu houve aumento do número de ciclones.

No Atlântico Sul as áreas mais favoráveis para a formação de ciclones são próximo à costa leste da América do Sul (AS) (30°S a 45°S) e Península Antártica (HOSKINS; HODGES, 2005). Um dos fatores que favorecem a ciclogênese na costa leste da AS é o contraste de temperatura entre o oceano com a camada de ar superficial. Quanto mais elevada for a temperatura da superfície do mar (TSM) maior será a quantidade de calor latente, sensível e umidade liberada para a atmosfera adjacente (REBOITA, 2008). Nesse processo, o gradiente de temperatura horizontal é intensificado e, conseqüentemente, mais energia potencial é convertida em energia cinética, fortalecendo os ciclones (MCMURDIE; HOUZE, 2006). Enquanto que a ciclogênese próxima à Península Antártica pode estar associada a instabilidades baroclínicas pré existentes em níveis mais altos da atmosfera (HOSKINS; HODGES, 2005).

A evolução computacional possibilitou estudar os ciclones de forma objetiva e automática (SIMMONDS; KEAY; BYE, 2012). Neste tipo de análise desenvolveu-se um algoritmo capaz de reconhecer os valores máximos ou mínimos das variáveis meteorológicas de interesse (HODGES, 1994). Trabalhos como Hodges (1994), Simmonds; Leighton; Murray, (1999), Hoskins; Hodges, (2005), Reboita et al., (2018) são exemplos da aplicação desta metodologia no estudo de ciclones. Esta técnica tem auxiliado na maior compreensão do comportamento dos ciclones, tornando possível a construção de estudos climatológicos de longas séries de dados.

O advento tecnológico também favoreceu técnicas de simulação como a modelagem numérica e o acoplamento entre modelos, o que permite que os diferentes processos físicos que ocorrem nos meios oceânico e atmosférico, sejam identificados e analisados com maior precisão. Segundo Federov (2007), os modelos capazes de acoplar o oceano e a atmosfera são fundamentais para o conhecimento dos padrões de temperatura global e as propriedades dos diferentes modos de variabilidade climática.

Investigar as condições de formação, trajetória e intensidade dos ciclones melhora a acurácia da previsão do tempo e minimiza possíveis prejuízos com passagem desses sistemas. Portanto, o objetivo deste trabalho é

investigar qual o papel da Península Antártica no comportamento dos ciclones extratropicais que atuam na região sul da América do Sul e oceanos adjacentes.

METODOLOGIA

Para elaboração deste estudo foi utilizado dados diários da velocidade do vento em 850 hPa disponibilizados a cada 6 horas, durante o período de 00Z de 01/03/2004 a 18Z de 31/12/2018. Estes dados foram obtidos a partir da análise final do modelo *Global Forecast System* (GFS ANL), disponibilizados pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) com resolução espacial de 1,0° de latitude e longitude até dezembro de 2014 e 0,5° a partir de janeiro de 2015. A área de estudo está localizada entre as coordenadas 0° a 90°S e 10°O a 140°O, abrangendo parte da região do continente sul-americano e oceanos Atlântico e Pacífico Sul.

Os deslocamentos dos ciclones foram descritos por meio do algoritmo TRACK desenvolvido por Hodges (1994, 1995, 1999). Este aplicativo computacional traça a trajetória do sistema ciclônico a partir de uma sequência de mínimos locais de vorticidade relativa, calculada a partir do campo de velocidade horizontal (HODGES, 1994). De acordo com o autor, a vorticidade relativa caracteriza melhor a localização dos sistemas de escala sinótica se comparada com a pressão reduzida ao nível médio do mar (PRNMM). Para rastrear tal característica, o algoritmo se baseia na técnica do vizinho mais próximo e utiliza uma função custo para suavizar se a trajetória do sistema para um perfil próximo do real (HODGES, 1999). O rastreamento para este trabalho foi realizado mensalmente para os 14 anos de dados (totalizando 168 saídas)

Próximos passos serão: 1) rodar o módulo estatístico do TRACK para obter as estatísticas básicas das saídas: densidade de gênesis e lises, densidade de sistemas, velocidade média, tempo de vida médio, taxa média de crescimento e decaimento. Estas medidas estatísticas servirão de referência para filtragem dos casos mais relevantes para este trabalho; 2) modelar numericamente o fluxo de calor na interface oceano-atmosfera e a variação da cobertura de gelo marinho na Península Antártica, a fim de investigar o papel da Antártica no clima da América do sul.

Para a parte de modelagem, será usado o sistema COAWST (*Coupled Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport*) (WARNER et al., 2008, 2010), que combina as saídas dos modelos atmosférico WRF (*Weather Research & Forecasting*), oceânico ROMS (*Regional Ocean Model System*), de ondas SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) e o modelo de transporte de sedimentos CSTMS (*Community Sediment Transport Modeling System*). No entanto, para este trabalho será usado apenas o modo oceano-atmosfera (WRF-ROMS). O COAWST permite simular de maneira realista os complexos processos que regulam a dinâmica atmosférica, marinha e seus feedbacks mútuos (RICCHI et al., 2016).

RESULTADOS PRÉVIOS E DISCUSSÃO

Foram selecionados como resultados prévios os rastreamentos os meses de setembro de 2011, 2012, 2013 e 2014 e abril de 2012, 2013, 2014 e 2015. De acordo com a NASA (2019), nesse período as extensões de gelo marinho ao redor da Antártica foram máximas desde o começo do monitoramento por satélite em 1978. A figura 1 (a,b,c,d) ilustra as trajetórias dos ciclones rastreados pelo algoritmo o TRACK.

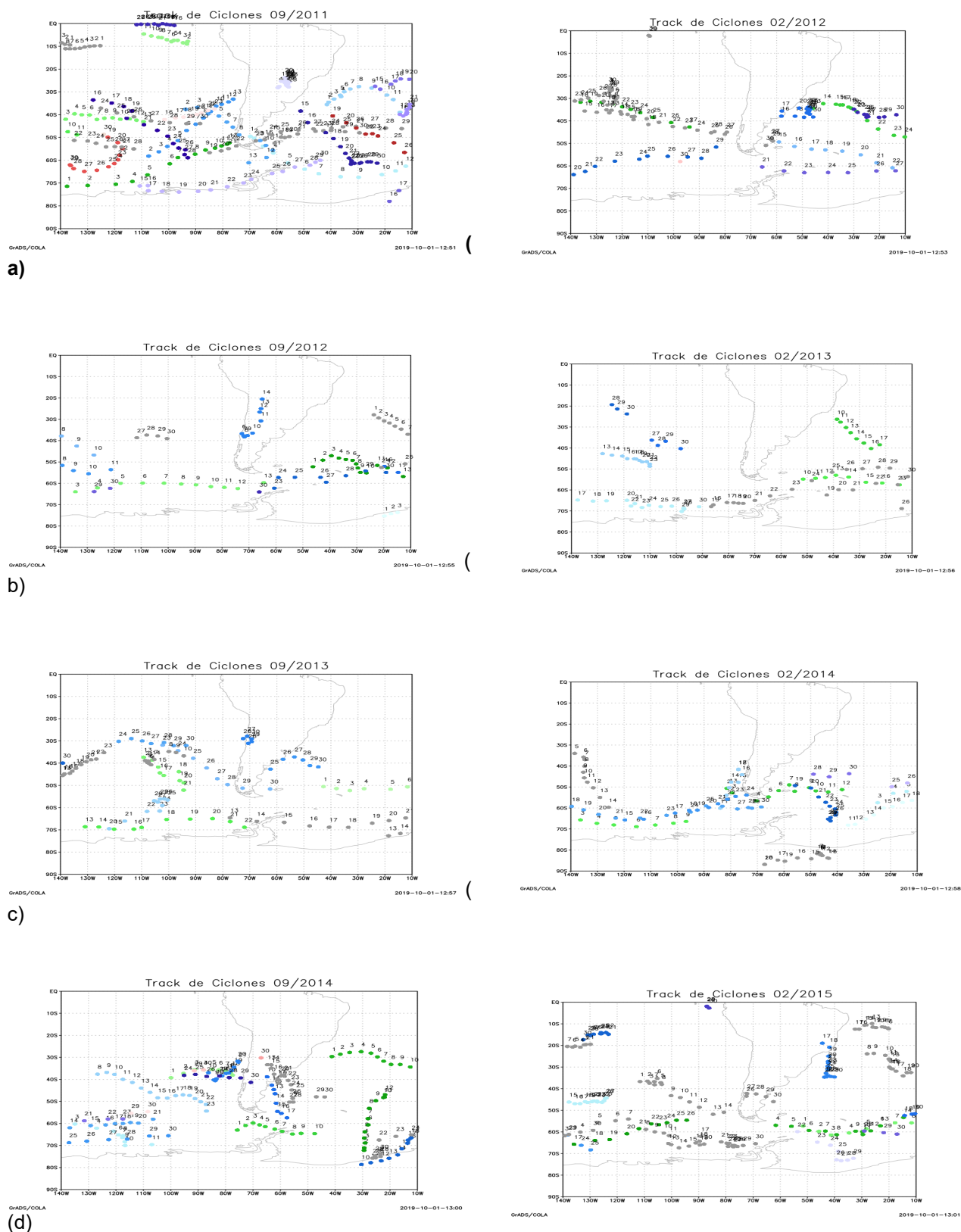


Figura 1: Trajetórias rastreadas nos meses de setembro e abril entre 2011 e 2015, à esquerda estão os meses de setembro e à direita os meses de abril. Fonte: Autora.

Em relação ao inverno pode-se observar que setembro de 2011 se destaca quanto ao número de sistemas para a área de estudo, sendo o mês de todo o período que teve mais ocorrências. Na sub região da Passagem de Drake ($\sim 67^\circ$ S e 83° O) também ocorreu mais ciclones do que nos outros períodos. Setembro de 2014 (fig. 1c) aparenta ser o segundo com maior quantidade de ciclones rastreados e em setembro de 2012 (fig. 1b) foi o mês com menos sistemas do período. Quanto ao verão, o mês de fevereiro de 2013 (fig. 1b) foi o com menos sistemas, seguido por fevereiro de 2014 (fig. 1c). Enquanto fevereiro de 2015 foi o com mais quantidade do verão.

A figura 2 (a,b,c,d) mostra a variação do gelo marinho ao redor do continente Antártico entre 2012 e 2014. O gelo marinho antártico atinge os máximos de expansão em setembro (final do inverno) e os mínimos em fevereiro (verão), sendo que quase todo o gelo marinho derrete (NASA, 2019).

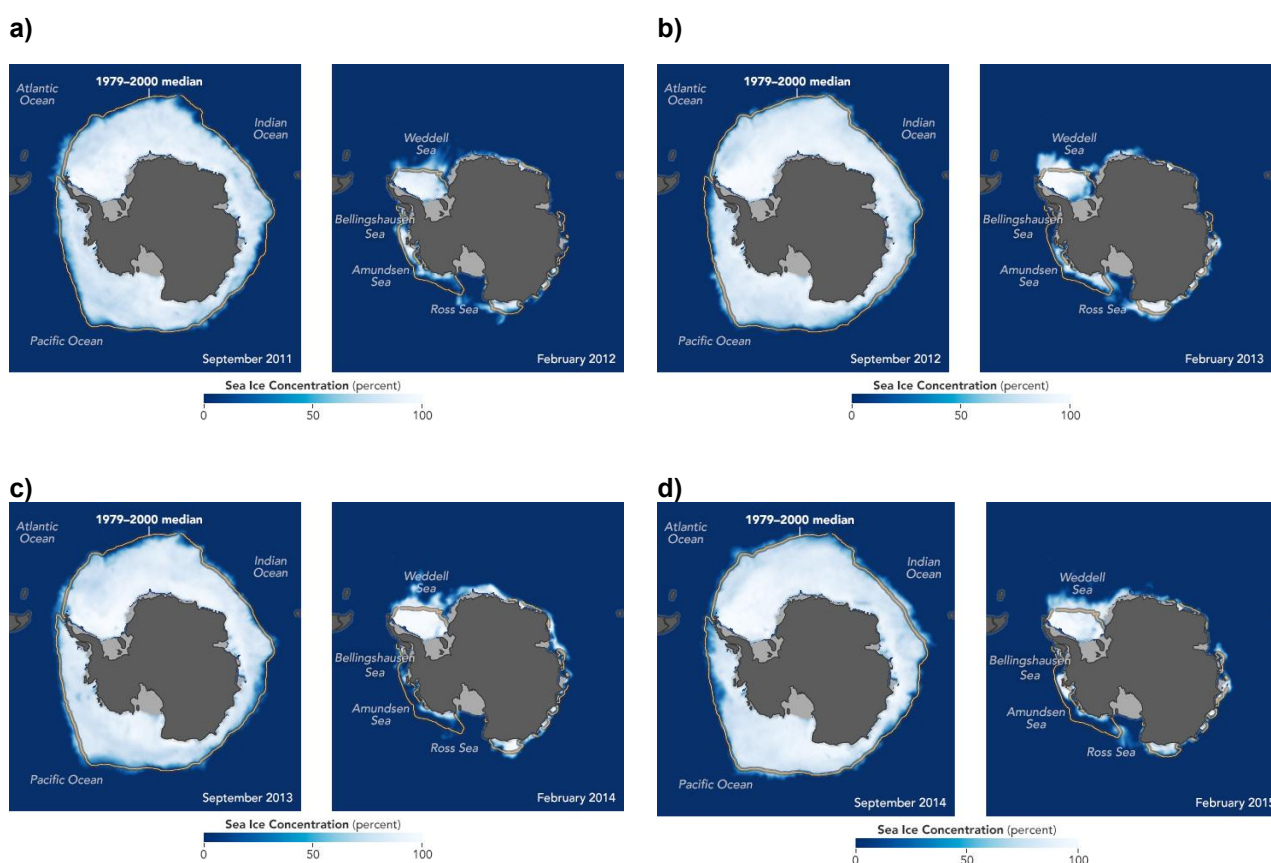


Figura 2: Imagens de satélite mostrando a variação do gelo marinho ao redor do continente Antártico entre 2012 e 2014, à esquerda estão os meses de setembro e à direita os meses de abril. Fonte: Nasa (2019).

Comparando as figuras 1 e 2 percebe-se que os resultados encontrados neste trabalho não coincidem com os encontrados por Simmonds e Wu (1993). As causas dessa divergência e o papel que a variação de gelo marinho provoca serão investigados a fundo nas próximas etapas do estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução do TRACK se mostrou satisfatória, uma vez que os resultados encontrados corroboram com a literatura da região (HOSKINS; HODGES, 2005; REBOITA et al., 2005). Um manual com as instruções de instalação e configuração em inglês e português será produzido como um dos produtos do mestrado.

REFERÊNCIAS

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes Frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTIDA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. Cap. 9, p. 133-147.

FEDOROV, Alexey V.. Net Energy Dissipation Rates in the Tropical Ocean and ENSO Dynamics. **Journal Of Climate**, [s.l.], v. 20, n. 6, p.1108-1117, mar. 2007. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/jcli4024.1>.

HODGES, K. I.. A General Method for Tracking Analysis and Its Application to Meteorological Data. **Monthly Weather Review**, [s.l.], v. 122, n. 11, p.2573-2586, nov. 1994. American Meteorological Society. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1994\)122.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1994)122.0.co;2).

HODGES, K. I.. Feature tracking on the unit sphere. **Montly Weather Review**, [s.l.], v. 123, p. 3458–3465, 1995.

HODGES, K. I.. Adaptive constraints for feature tracking. **Montly Weather Review**, [s.l.], v. 127, p. 1362–1373, 1999.

HOSKINS, B. J.; HODGES, K. I.. A New Perspective on Southern Hemisphere Storm Tracks. **Journal Of Climate**, [s.l.], v. 18, n. 20, p.4108-4129, out. 2005. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/jcli3570.1>.

MCMURDIE, Lynn; HOUZE, Robert A.. Weather Systems. In: WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V.. **Atmospheric Science**. 2. ed. London: Academic Press, 2006. Cap. 8. p. 313-373. Disponível em: <http://cup.aos.wisc.edu/453/2016/readings/Atmospheric_Science-Wallace_Hobbs.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2019.

NASA Earth Observatory. **World of Change: Antarctic Sea Ice**. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/sea_ice_south.php>. Acesso em: 15 out. 2019.

REBOITA, Michelle Simões. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. 2008. 316 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meteorologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://pct.capes.gov.br/teses/2008/33002010124P0/TES.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

REBOITA, Michelle S. et al. Extratropical cyclones over the southwestern South Atlantic Ocean: HadGEM2-ES and RegCM4 projections. **International Journal Of Climatology**, [s.l.], v. 38, n. 6, p.2866-2879, 25 mar. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5468>.

RICCHI, Antonio et al. On the use of a coupled ocean–atmosphere–wave model during an extreme cold air outbreak over the Adriatic Sea. **Atmospheric Research**, [s.l.], v. 172-173, p.48-65, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.12.023>.

SIMMONDS, Ian; WU, Xingren. Cyclone behaviour response to changes in winter southern hemisphere sea-ice concentration. **Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society**, [s.l.], v. 119, n. 513, p.1121-1148, jul. 1993. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49711951313>.

SIMMONDS, Ian; LEIGHTON, R.; MURRAY, Ross. A refinement of cyclone tracking methods with data from FROST. **Australian Meteorological Magazine Special Edition**, [s.l.], p.35-49, 1999. Disponível em: <https://www.academia.edu/967042/A_refinement_of_cyclone_tracking_methods_with_data_from_FROST>. Acesso em: 11 jun. 2019.

SIMMONDS, Ian et al. Large-scale Vertical Momentum, Kinetic Energy and Moisture Fluxes in the Antarctic Sea-ice Region. **Boundary-layer Meteorology**, [s.l.], v. 117, n. 1, p.149-177, out. 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10546-004-5939-6>.

SIMMONDS, Ian; KEAY, Kevin; BYE, John Arthur Tristram. Identification and Climatology of Southern Hemisphere Mobile Fronts in a Modern Reanalysis. **Journal Of Climate**, [s.l.], v. 25, n. 6, p.1945-1962, mar. 2012. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/jcli-d-11-00100.1>.

WARNER, John C. et al. Development of a three-dimensional, regional, coupled wave, current, and sediment-transport model. **Computers & Geosciences**, [s.l.], v. 34, n. 10, p.1284-1306, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2008.02.012>.

WARNER, John C. et al. Development of a Coupled Ocean–Atmosphere–Wave–Sediment Transport (COAWST) Modeling System. **Ocean Modelling**, [s.l.], v. 35, n. 3, p.230-244, jan. 2010. Elsevier BV.